



Bitácoras de escritura en un curso de Álgebra Lineal: Un análisis de producción con LLM desde la investigación basada en diseño

Carlos Rojas Bruna

Facultad de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Chile

Chile

carojasb@uc.cl

Resumen

Con el objetivo de evaluar el impacto de las bitácoras de escritura en el aprendizaje del Álgebra Lineal, este estudio examina su uso como herramienta para identificar factores conceptuales y no académicos que influyen en el desempeño estudiantil. Se implementó una estrategia basada en la investigación basada en diseño (DBR), con bitácoras semanales recopiladas en la plataforma Canvas y analizadas mediante Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM). Los hallazgos indican que la participación constante en las bitácoras se asocia a un mejor rendimiento académico, además de evidenciar dificultades recurrentes en la representación geométrica y la aplicación de desigualdades matemáticas. También se identificaron patrones de regulación emocional y organización del estudio reflejados en la escritura estudiantil, destacando el potencial de las bitácoras para generar ajustes pedagógicos efectivos, como la transición a una clase pseudo invertida. Los resultados sugieren que la integración de LLM en la retroalimentación automatizada optimiza el análisis y fomenta una comprensión más profunda de los procesos de aprendizaje.

Palabras clave: Álgebra Lineal; Escritura reflexiva; Investigación basada en diseño; LLM en educación; Matemática universitaria.

Definición y relevancia del problema

El uso de la escritura en la educación matemática ha sido reconocido como una estrategia efectiva para fomentar la reflexión y el aprendizaje conceptual. En el contexto del Álgebra Lineal, los estudiantes enfrentan dificultades al transitar de un enfoque procedural a la comprensión de estructuras matemáticas abstractas. Las bitácoras de escritura se presentan como una herramienta que permite documentar este proceso, facilitando la metacognición y el desarrollo de la comunicación matemática formal.

Este estudio se enmarca en el curso **Introducción al Álgebra Lineal (MAT1214)**, impartido en el segundo semestre del primer año de la **Licenciatura en Matemáticas** en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Este curso introduce conceptos fundamentales de Álgebra Lineal, como **sistemas de ecuaciones lineales, espacios vectoriales y transformaciones lineales**, y enfatiza el desarrollo de habilidades de comunicación matemática, tanto en escritura manuscrita como en LaTeX. En este contexto, las bitácoras de escritura fueron implementadas como una herramienta de evaluación formativa con una ponderación del **10% de la calificación final**, con el propósito de fomentar la reflexión sobre el aprendizaje y proporcionar un espacio para que los estudiantes expresen sus dificultades y estrategias de resolución de problemas.

Este estudio investiga cómo las bitácoras pueden mejorar la comprensión del Álgebra Lineal y en qué medida los modelos de lenguaje de gran escala (LLM) pueden analizar y retroalimentar estas producciones escritas. Desde un enfoque de investigación basada en diseño (DBR), se examinaron cuatro iteraciones del curso, permitiendo ajustes progresivos en la implementación de las bitácoras y la evaluación de su impacto en el aprendizaje de los estudiantes.

Más allá del aprendizaje matemático, este estudio plantea las bitácoras como una herramienta clave para analizar factores que influyen en el desempeño académico, tales como la regulación emocional, la organización del tiempo y la autopercepción de la competencia matemática. La escritura permite a los estudiantes expresar sus dificultades, reflexionar sobre su progreso y documentar estrategias que emplean para abordar el aprendizaje del Álgebra Lineal. Al analizar estas producciones con LLM, fue posible identificar patrones en las experiencias de los estudiantes y explorar cómo estos factores incidieron en su desarrollo académico.

El propósito de la investigación es generar un marco teórico-práctico que optimice el uso de bitácoras en cursos universitarios de matemáticas, proporcionando evidencia empírica sobre su efectividad tanto en la conceptualización del Álgebra Lineal como en la identificación de dinámicas socioemocionales y de gestión del aprendizaje que impactan el rendimiento estudiantil.

Referencial teórico

La escritura reflexiva ha sido ampliamente estudiada en la educación matemática universitaria como un recurso clave para la comprensión de conceptos complejos. La literatura

destaca que la escritura no solo facilita el aprendizaje, sino que también permite explorar los procesos de pensamiento de los estudiantes (Flesher, 2003; Johanning, 2000). En particular, en el contexto del Álgebra Lineal, donde los estudiantes enfrentan dificultades para transitar de un enfoque algebraico procedural a una comprensión más abstracta, la escritura reflexiva puede ser una herramienta efectiva para articular transiciones conceptuales y establecer conexiones entre diferentes representaciones matemáticas (Aytekin & Kıymaz, 2019).

Las bitácoras de escritura, como un género específico dentro de la escritura reflexiva, han demostrado ser una estrategia pedagógica efectiva en la educación matemática superior. Su uso regular y acumulativo facilita el desarrollo de habilidades metacognitivas y fomenta la autorregulación del aprendizaje (Pastells, 2020; Moll et al., 2010). Además, las bitácoras permiten a los docentes obtener información más detallada sobre los procesos de aprendizaje de los estudiantes, lo que favorece una mejor adaptación de las estrategias pedagógicas y una retroalimentación más significativa (Johanning, 2000; Godino, 2021).

Sin embargo, el análisis sistemático de las bitácoras representa un desafío debido al volumen de información que generan y a la necesidad de mantener un equilibrio entre la evaluación cualitativa y la eficiencia en la retroalimentación (Castro et al., 2020; Godino, 2021). En este sentido, los modelos de lenguaje de gran escala (LLM) han surgido como herramientas prometedoras para el análisis de textos educativos, ya que permiten procesar grandes volúmenes de información y detectar patrones en las producciones escritas de los estudiantes (Vallejo & Pineda, 2016). Aunque la aplicación de estas tecnologías en educación matemática presenta desafíos, su combinación con metodologías de análisis humano puede optimizar la interpretación de datos educativos y mejorar la comprensión del desarrollo del pensamiento matemático (Moll et al., 2010).

Desde una perspectiva metodológica, la investigación basada en diseño (DBR) ha demostrado ser una estrategia efectiva para evaluar y refinar intervenciones educativas en contextos reales (González et al., 2011). En la educación matemática universitaria, los ciclos iterativos de DBR han permitido la mejora continua de estrategias pedagógicas, adaptándolas a la evidencia recolectada durante el proceso de implementación (González et al., 2011). Además, la integración de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y la minería de datos, ha permitido ampliar las capacidades analíticas de estas investigaciones, facilitando la identificación de patrones de aprendizaje y la optimización de estrategias de enseñanza (Vanoy, 2023; Reynaga, 2023; Quiroz & Zúñiga, 2023).

Finalmente, el análisis de producción en educación matemática se ha consolidado como un enfoque clave para examinar las evidencias tangibles del aprendizaje de los estudiantes. Este enfoque no solo permite evaluar el contenido matemático expresado en las bitácoras, sino que también proporciona información valiosa sobre el desarrollo conceptual y las estrategias metacognitivas utilizadas en la resolución de problemas (Godino, 2021; Burgos et al., 2020). En este contexto, las bitácoras pueden ofrecer información relevante sobre factores que afectan el aprendizaje del Álgebra Lineal, como la regulación emocional, la organización del tiempo y la autopercepción de la competencia matemática, elementos que no siempre son evidentes en evaluaciones tradicionales (Hacker et al., 2019; Bracho et al., 2014).

Método y desarrollo conceptual.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque de investigación basada en diseño (DBR), caracterizado por su naturaleza iterativa y su capacidad para integrar teoría y práctica en contextos educativos reales (González et al., 2011). A lo largo de cuatro iteraciones de un curso universitario de Álgebra Lineal, se implementaron y refinaron bitácoras de escritura con el objetivo de evaluar su impacto en el aprendizaje y en la identificación de factores que influyen en el desempeño académico de los estudiantes.

El análisis de las bitácoras se llevó a cabo mediante modelos de lenguaje de gran escala (LLM), herramientas emergentes en educación matemática que facilitaron el procesamiento automatizado de textos educativos (Quiroz & Zúñiga, 2023; Vanoy, 2023). El uso de LLM permitió detectar patrones en la evolución del pensamiento matemático y en la gestión del aprendizaje, comparando los hallazgos con métodos cualitativos tradicionales para evaluar la efectividad de estas tecnologías en la retroalimentación y el análisis de producción escrita.

El curso, con una duración de 16 semanas, se estructuró en torno a un programa progresivo que abordó desde la resolución de sistemas de ecuaciones lineales hasta conceptos avanzados como transformaciones lineales, valores propios y descomposición en valores singulares. Dentro de esta planificación, la bitácora semanal fue incorporada como un instrumento de evaluación formativa, representando un 10% de la nota final, con el propósito de fomentar la escritura reflexiva y la autoevaluación.

Fases de implementación

El estudio se estructuró en cuatro fases, cada una correspondiente a una iteración del curso:

1. Análisis retrospectivo:
 - Se evaluó una implementación previa de bitácoras en el curso.
 - Se diseñaron y validaron instrumentos de análisis.
 - Se refinaron los prompts utilizados para guiar la escritura de los estudiantes.
2. Ciclos iterativos (Fases 2-4):
 - Se implementaron progresivamente las bitácoras en nuevos grupos de estudiantes.
 - Se analizaron la evolución de la escritura y los factores asociados al aprendizaje.
 - Se realizaron ajustes y refinamientos al modelo en función de los hallazgos obtenidos en cada iteración.

Recolección y análisis de datos

Los datos se recopilaban a partir de:

- Producciones escritas: Bitácoras generadas por los estudiantes a lo largo del curso.
- Datos de desempeño académico: Calificaciones y participación en actividades del curso.
- Factores no académicos: Encuestas sobre regulación emocional, gestión del tiempo y autopercepción de la competencia matemática.

El análisis combinó enfoques cualitativos y automatizados, empleando herramientas de análisis de producción (Godino, 2021) y modelos LLM para evaluar la estructura y evolución de las reflexiones escritas.

El estudio garantizó el cumplimiento de principios éticos en la investigación educativa, asegurando el consentimiento informado de los participantes, la anonimización de los datos para proteger su privacidad y el uso responsable de la inteligencia artificial

Resultados

Este estudio se fundamenta en el análisis de la implementación de bitácoras de escritura en el curso Introducción al Álgebra Lineal (MAT1214), desarrollado durante el segundo semestre de 2024, como parte de un proceso iterativo de investigación basada en diseño. Los resultados que aquí se presentan corresponden al primer ciclo de iteración, en el cual participaron 27 estudiantes, y se basan en el análisis de su participación en las bitácoras, desempeño académico, respuestas en encuestas docentes, observación en clases y reflexiones expresadas en sus escritos semanales. Durante el año 2025, se desarrollarán dos nuevas iteraciones de esta experiencia, lo que permitirá complementar y expandir estos hallazgos, obteniendo una visión longitudinal del impacto de las bitácoras en el aprendizaje del Álgebra Lineal y en la identificación de factores que influyen en el desempeño estudiantil.

Uno de los primeros aspectos analizados fue la relación entre la frecuencia de entrega de bitácoras y el rendimiento académico. Se observó que, en promedio, los estudiantes entregaron 12 de las 14 bitácoras posibles, con seis de ellos completando la totalidad de las entregas, mientras que solo un estudiante presentó una participación mínima de dos bitácoras.

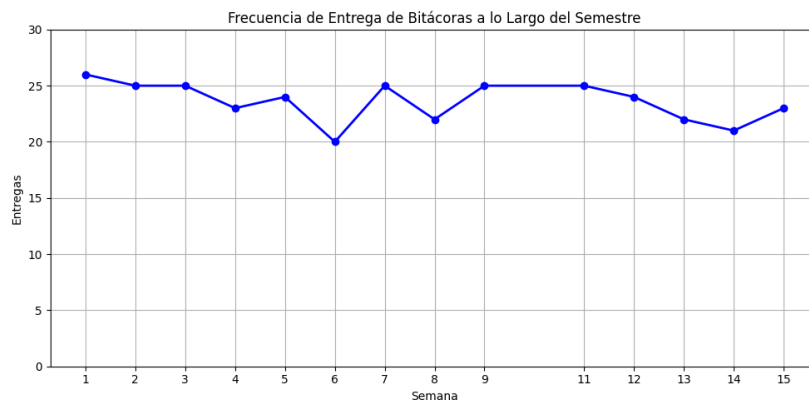


Figura 1. Frecuencia de entrega de las bitácoras.

Como se observa en la Figura 1, la cantidad de entregas se mantuvo relativamente estable a lo largo del semestre, con una baja variabilidad en la participación semanal. Este nivel de cumplimiento permitió identificar una correlación positiva entre la constancia en la escritura reflexiva y el desempeño en el curso. Los estudiantes que registraron 13 o más entregas obtuvieron, en su mayoría, una nota final igual o superior a 6.5, mientras que aquellos que completaron menos de 10 entregas presentaron un desempeño considerablemente más bajo, con

notas finales en torno a 5.0 o menos. Esta tendencia sugiere que el uso continuo de la bitácora contribuye a una mejor estructuración del pensamiento matemático y una mayor capacidad de argumentación en la resolución de problemas, elementos que se reflejan en la evaluación formal del curso.

El uso de bitácoras evidenció tanto aspectos conceptuales del aprendizaje como elementos relacionados con la gestión del aprendizaje y la experiencia emocional. El análisis cualitativo identificó dificultades recurrentes en la representación geométrica de vectores en R^3 , con expresiones como *"se me dificulta dibujar operaciones de vectores en R^3 "*, la comprensión del producto punto donde estudiantes mencionaron *"no entendía cómo el producto punto servía para saber si dos vectores formaban 90 grados"*, y la aplicación de desigualdades matemáticas como Cauchy-Schwarz, sugiriendo la necesidad de reforzar estos conceptos.

Las bitácoras también revelaron factores no académicos que impactaron el aprendizaje. Los estudiantes expresaron dificultades de adaptación al mencionar *"me costó agarrarle el ritmo de nuevo a la U"* y *"me cuesta organizar el tiempo para estudiar lo suficiente"*. Un hallazgo significativo fue la dificultad en la toma de apuntes, señalando que *"me cuesta tomar apuntes porque el profesor no sube los PPT antes"*. En respuesta, el docente ajustó su metodología proporcionando diapositivas antes de las clases, transformando el curso en una clase pseudo invertida con resultados positivos.

El análisis de las bitácoras de la semana 14, previo a exámenes finales, reveló diferencias en los estilos de escritura. Mientras algunos estudiantes presentaban escrituras organizadas y analíticas, otros mostraban redacciones fragmentadas con expresiones de ansiedad como *"estoy ansiosa y con miedo de todos los exámenes que vienen"*. Estas variaciones permitieron identificar estudiantes que requerían mayor acompañamiento.

Para el análisis automatizado, se utilizaron Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM) que facilitaron el procesamiento de aproximadamente 13,500 palabras provenientes de 54 documentos. Se diseñó un prompt específico: *"Eres un analista educativo especializado en aprendizaje matemático. Tu tarea es analizar un corpus de bitácoras estudiantiles para identificar dificultades conceptuales. Realiza un análisis de frecuencia de términos matemáticos y clasifica los errores en categorías."* Este enfoque permitió obtener retroalimentación personalizada sobre dificultades conceptuales, patrones en la organización del estudio y estados emocionales.

Los hallazgos de esta primera iteración demuestran que las bitácoras favorecen tanto la comprensión del Álgebra Lineal como la organización del aprendizaje y la confianza estudiantil. La combinación de análisis cualitativo y automatizado optimiza el uso de la escritura reflexiva en la enseñanza universitaria de matemáticas, con perspectivas de mejora en las dos iteraciones planeadas para 2025.

Conclusiones

El uso de bitácoras de escritura en el curso *Introducción al Álgebra Lineal (MAT1214)* ha demostrado ser una herramienta valiosa para fortalecer el aprendizaje, tanto en términos de comprensión conceptual como en la gestión del estudio y regulación emocional. A lo largo del

primer ciclo de iteración, los datos analizados evidencian que la escritura reflexiva contribuyó a la estructuración del pensamiento matemático, permitiendo a los estudiantes articular ideas, identificar dificultades y establecer conexiones entre distintos conceptos algebraicos. Desde una perspectiva cuantitativa, la alta tasa de participación en la entrega de bitácoras y su correlación positiva con el desempeño académico sugieren que esta metodología promueve hábitos de estudio más sistemáticos y facilita un seguimiento continuo del aprendizaje. Los estudiantes que realizaron entregas constantes obtuvieron, en general, mejores calificaciones, lo que indica que la reflexión escrita favorece la consolidación del conocimiento.

El análisis cualitativo permitió identificar dificultades recurrentes en temas como la representación geométrica de vectores en $\mathbb{R}^3$, la aplicación del producto punto y la interpretación de desigualdades matemáticas. Además, las reflexiones escritas revelaron factores no académicos que influyen en el aprendizaje, como la organización del tiempo, la carga cognitiva y la ansiedad ante evaluaciones. Un ejemplo concreto del impacto de las bitácoras en la dinámica del curso fue la modificación en la entrega de materiales, luego de que los estudiantes manifestaran dificultades en la toma de apuntes debido a la falta de acceso previo a las diapositivas. Esta adaptación metodológica permitió mejorar la preparación de los estudiantes y transformar la dinámica del curso en una clase pseudo invertida, con efectos positivos en la participación y comprensión del contenido.

El análisis de las bitácoras de la semana 14, período en el que los estudiantes enfrentaban la proximidad de los exámenes finales, refuerza la idea de que esta herramienta también permite identificar cambios en la dinámica emocional y académica. Se observó una diferencia notable en los estilos de escritura: algunos estudiantes organizaron sus reflexiones de manera clara y estructurada, mientras que otros presentaron textos fragmentados y con un tono más ansioso, con expresiones como *"estoy ansiosa y con miedo de todos los exámenes que vienen"*. Estas variaciones sugieren que, además de evidenciar la comprensión conceptual, las bitácoras pueden servir como un instrumento para detectar estudiantes en riesgo académico o emocional, facilitando estrategias de apoyo oportunas.

El uso de Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM) para el análisis de las bitácoras ha abierto nuevas posibilidades para el estudio sistemático del aprendizaje. Dado el volumen de textos generados, el análisis manual detallado resulta inviable, pero la implementación de herramientas automatizadas ha permitido identificar patrones conceptuales, emocionales y metacognitivos de manera eficiente. La retroalimentación automatizada basada en LLM se perfila como una estrategia prometedora para ofrecer a los estudiantes observaciones detalladas sobre su proceso de aprendizaje, ayudando a detectar errores, mejorar la estructuración del discurso y brindar recomendaciones personalizadas.

De cara a las próximas iteraciones del curso en 2025, la continuidad de este estudio permitirá evaluar con mayor profundidad la evolución de los patrones identificados y validar la efectividad de las estrategias implementadas. Se espera que el análisis longitudinal de las bitácoras contribuya a afinar los criterios de evaluación de la escritura reflexiva en matemáticas, optimizar la retroalimentación automatizada y consolidar el uso de esta herramienta como un elemento clave en la enseñanza universitaria del Álgebra Lineal.

En síntesis, los resultados obtenidos hasta ahora muestran que la escritura reflexiva no solo fortalece la comprensión matemática, sino que también constituye un recurso valioso para la autorregulación del aprendizaje y la identificación de necesidades pedagógicas. La integración de análisis automatizados mediante LLM amplía el potencial de esta estrategia, posicionándola como una práctica innovadora con un impacto significativo tanto en el rendimiento académico como en la experiencia formativa de los estudiantes.

Referencias

- Aytekin, C., & Kıymaz, Y. (2019). Teaching linear algebra supported by GeoGebra visualization environment. *Acta Didactica Napocensia*, 12(2), 75-96. <https://doi.org/10.24193/adn.12.2.7>
- Bracho, R., Jiménez-Fanjul, N., Maz-Machado, A., Torralbo-Rodríguez, M., & Cano, A. (2014). Producción científica sobre narrativa en educación matemática en la Web of Science. *Bolema Boletim de Educação Matemática*, 28(49), 744-761. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v28n49a14>
- Burgos, M., Castillo, M., Beltrán-Pellicer, P., Giacomone, B., & Godino, J. (2020). Análisis didáctico de una lección sobre proporcionalidad en un libro de texto de primaria con herramientas del enfoque ontosemiótico. *Bolema Boletim de Educação Matemática*, 34(66), 40-68. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v34n66a03>
- Castro, P., Gómez, P., Carranza, S., & Cañadas, M. (2020). Comunidad colombiana de educación matemática: una caracterización documental. *Bolema Boletim de Educação Matemática*, 34(68), 1221-1242. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v34n68a18>
- Flesher, T. (2003). Writing to learn mathematics. *The WAC Journal*, 14(1), 37-48. <https://doi.org/10.37514/wac-j.2003.14.1.04>
- Godino, J. (2021). De la ingeniería a la idoneidad didáctica en educación matemática. *Revemop*, 3, e202129. <https://doi.org/10.33532/revemop.e202129>
- González, M., Martínez, E., González, J., & Martínez, E. (2011). Un acercamiento a la investigación de diseño a través de los experimentos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 29(1), 75-87. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v29n1.435>
- Hacker, D., Kihara, S., & Levin, J. (2019). A metacognitive intervention for teaching fractions to students with or at-risk for learning disabilities in mathematics. *ZDM*, 51(4), 601-612. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01040-0>
- Johanning, D. (2000). An analysis of writing and postwriting group collaboration in middle school pre-algebra. *School Science and Mathematics*, 100(3), 151-160. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2000.tb17250.x>
- Moll, V., Planas, N., & Godino, J. (2010). Modelo para el análisis didáctico en educación matemática. *Journal for the Study of Education and Development Infancia y Aprendizaje*, 33(1), 89-105. <https://doi.org/10.1174/021037010790317243>
- Pastells, A. (2020). El enfoque de los itinerarios de enseñanza de las matemáticas: ¿por qué?, ¿para qué? y ¿cómo aplicarlo en el aula? *Tangram - Revista de Educação Matemática*, 3(2), 127-158. <https://doi.org/10.30612/tangram.v3i2.12018>
- Quiroz, H., & Zúñiga, K. (2023). Técnica de minería de datos para procesos educativos en estudiantes con necesidades educativas especiales basado en un modelo predictivo. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria Pentaciencias*, 5(5), 205-217. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i5.730>
- Reynaga, H. (2023). La inteligencia artificial en la educación: aporte o competencia. *Salud Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias*, 2, 133-146. <https://doi.org/10.37885/231215175>
- Vallejo, C., & Pineda, M. (2016). ¿Por qué el concepto de función genera dificultad en el estudiante? *Recacym*, 7, 92-104. <https://doi.org/10.61174/recacym.v7i1.99>
- Vanoy, R. (2023). Educational transformation: optimization in the teaching of logistics in international business through the application of artificial intelligence in higher education institutions. *Salud Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias*, 2, 422. <https://doi.org/10.56294/sctconf2023422>